

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**



**ПАКУВАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ.**  
**Лабораторний практикум**

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
як навчальний посібник для студентів,  
які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»,  
спеціалізацією «Інжиніринг паковань та пакувального обладнання»*

(денна форма навчання)

КПІ ім. Ігоря Сікорського  
2019

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Пакувальне обладнання. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студентів, які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», спеціалізацією «Інжиніринг пакування та пакувального обладнання» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: О.Л. Сокольський, О.Є. Колосов. – Електронні текстові данні (1 файл: 0,922 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 52 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 2 від 31.10.2019 р.) за поданням Вченої ради інженерно-хімічного факультету (протокол № 8 від 23.09.2019 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

**ПАКУВАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ.  
Лабораторний практикум**

Укладачі: *Сокольський Олександр Леонідович, канд. техн. наук, доц.  
Колосов Олександр Євгенович, д-р техн. наук, проф.*

Відповідальний редактор: *Гондляр О.В., д-р техн. наук, проф.*

Рецензенти: *Степанюк А.Р., канд. техн. наук, доцент*

Призначення лабораторного практикуму – закріпити та поглибити теоретичний програмний матеріал, оволодіти практичними навичками роботи в лабораторії пакувального обладнання шляхом самостійного експериментального дослідження пакувального обладнання. Практикум містить описи 12 лабораторних робіт. Кожній групі робіт передують коротка теоретична частина, яка знайомить студентів з поняттями, використовуваними в роботах, обґрунтовується вибір теми, об'єкта і методу дослідження. Для кожної роботи сформульована мета, перераховані матеріали, обладнання, прилади, необхідні для її виконання. Далі наводиться опис прийомів, які використовуються для виконання конкретних завдань.

У кінці кожної лабораторної роботи дається список літератури, в якій більш детально розглянуті питання до представленої тематики. Для якісного виконання роботи і самоконтролю студентів запропоновані контрольні питання до кожної представленої теми. Залежно від програми читаного курсу, оснащення лабораторії, наявності необхідних матеріалів викладач може вибирати (варіювати) відповідні теми, роботи і завдання.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019

## ВСТУП

Даний лабораторний практикум призначений для підготовки та проведення лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Пакувальне обладнання» (для студентів, які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», спеціалізацією «Інжиніринг пакувань та пакувального обладнання» денної форми навчання.

Призначення лабораторного практикуму – сприяти розвитку навичок самостійного експериментального дослідження пакувального обладнання.

Практикум містить описи 12 лабораторних робіт, а саме:

Лабораторна робота №1. Визначення кута природного укусу сипких матеріалів. Лабораторна робота №2. Визначення об'ємної маси сипких матеріалів. Лабораторна робота №3. Визначення коефіцієнтів тертя пакувальних матеріалів.

Лабораторна робота №4. Визначення коефіцієнтів тертя сипких матеріалів. Лабораторна робота №5. Визначення умовної в'язкості рідких продуктів. Лабораторна робота №6. Дослідження процесу дозування сипких продуктів під дією сили гравітації.

Лабораторна робота №7. Дослідження процесу дозування рідких продуктів під дією сили гравітації. Лабораторна робота №8. Дослідження механічних характеристик пластичних продуктів. Лабораторна робота №9. Дослідження процесу дозування сипких продуктів у шнековому живильнику.

Лабораторна робота №10. Дослідження похибки процесу об'ємного безперервного дозування сипких продуктів шнековим живильником. Лабораторна робота №11. Дослідження механічних характеристик плівкових пакувальних матеріалів. Лабораторна робота №12. Дослідження процесу зварювання плівкової тари.

Кожній групі робіт передуює коротка теоретична частина, яка знайомить студентів з поняттями, використовуваними в роботах, обґрунтовується вибір теми, об'єкта і методу дослідження. Для кожної роботи сформульована мета, перераховані матеріали, обладнання, прилади, необхідні для її виконання. Далі наводиться опис прийомів, які використовуються для виконання конкретних завдань.

У кінці кожної лабораторної роботи дається список літератури, в якій більш детально розглянуті питання до представленої тематики. Для якісного виконання роботи і самоконтролю студентів запропоновані контрольні питання до кожної представленої теми.

Залежно від програми читаного курсу, оснащеності лабораторії, наявності необхідних матеріалів викладач може вибирати (варіювати) відповідні теми, роботи і завдання.

У кінці практикуму наведено перелік рекомендованої літератури до усіх тем.

## МЕТА ТА ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

*Мета проведення лабораторних робіт* – закріпити та поглибити теоретичний програмний матеріал, оволодіти практичними навичками роботи в лабораторії пакувального обладнання.

Включення самостійної роботи студентів у навчальну програму в якості її основної складової частини потребує подальшого вдосконалення методики проведення лабораторних занять, підвищенню їх ефективності.

До кожного лабораторного заняття студент має виконати певний обсяг самостійної роботи, яка передбачена робочою навчальною програмою дисципліни “Пакувальне обладнання”. Основні теоретичні та методологічні питання за темою заняття наводяться у преамбулі кожної лабораторної роботи.

Для якісного засвоєння теоретичного матеріалу необхідно виконати рекомендоване домашнє завдання до кожного розділу курсу. Заключним компонентом підготовки до лабораторного заняття є складання протоколу запланованих дослідів у зошиті для лабораторних робіт.

Безпосередньо перед виконанням дослідів у лабораторії викладач надає індивідуальні вихідні дані для проведення необхідних розрахунків при проведенні експериментальної частини лабораторної роботи. Оформлення звіту про виконання індивідуального лабораторного завдання сприяє розвитку у студентів самостійної ініціативи в роботі, формує вміння проводити необхідні порівняння та співставлення, знаходити взаємозв'язки окремих явищ, а також робити обґрунтовані висновки з проведених результатів досліджень.

### Основні вимоги до роботи в лабораторії

1. До виконання лабораторної роботи допускаються студенти, які пред'явили протокол, складений самостійно, в окремому зошиті на 24 – 36 сторінок (Зошит для лабораторних робіт з дисципліни «Пакувальне обладнання», прізвище, ім'я та по батькові, факультет, група).

У зошиті зазначається:

- а) номер лабораторної роботи, її назва;
- б) мета роботи;
- в) порядок її виконання.

2. Одержані при виконанні роботи експериментальні дані необхідно пред'явити викладачу для перевірки.

3. Закінчивши роботу, необхідно вимити (почистити) використовувані елементи лабораторного обладнання, привести в порядок робоче місце й приступити до обробки результатів та оформлення звіту.

4. Звіт, крім протоколу, повинен містити:

- а) формули для розрахунків;
- б) розрахунки шуканих величин;
- в) таблиці експериментальних та розрахованих даних, графіки на масштабно-координатному папері;
- г) висновки.

## Лабораторна робота №1

### ВИЗНАЧЕННЯ КУТА ПРИРОДНОГО УКОСУ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

**Мета роботи:** навчитися визначати кут природного укосу сипких матеріалів, експериментально провести їх визначення, ознайомитися із вживаним устаткуванням і приладами.

#### Основні теоретичні положення

Кут природного укосу належить до важливих характеристик сипких продуктів.

Кутом природного укосу називається кут між зовнішньою поверхнею сипкого матеріалу і горизонтальною площиною (рис.1.1). Він характеризує відносну рухливість частинок сипкого матеріалу на його зовнішній поверхні.

Відносний взаємний рух частинок залежить від сил зчеплення між окремими частинками матеріалу, які у свою чергу залежать від форми і величини частинок, шорсткості поверхні частинок, вологості матеріалу і т.д.

Методика заснована на вимірюванні кута між горизонтальною площиною і твірній конуса, що мимоволі створюється сипким матеріалом.

Для визначення сипучості використовують пристосування, показане на рис. 1.1. Воно складається з основи 1, з нанесеними концентричними колами діаметром 100 - 600 мм через кожні 10 мм, стійки 2 із шкалою для вимірювання висоти, рухомої планки 3, здатній переміщатися у вертикальній і горизонтальній площинах.

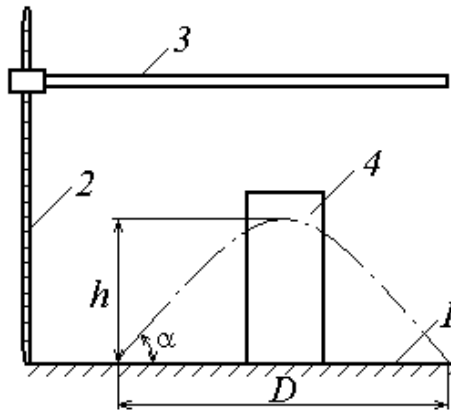


Рис. 1.1 Схеми пристосування для вимірювання сипучості матеріалу по куту природного укосу

## Порядок виконання роботи і обробки результатів

*Устаткування і матеріали:* штатив, порожнистий циліндр, штангенциркуль, лінійка, зразки сипкого матеріалу.

*Хід роботи.*

Порожнистий циліндр 4 (діаметром 100 мм і заввишки 300 мм) встановлюють на основу 1, суміщаючи його із колом 100 мм. Насипають в нього 2 л матеріалу і підіймають строго вертикально угору з однаковою швидкістю у всіх експериментах. Розсипаючись, матеріал набуває форми, близької до конічної.

Повторивши експеримент 5 - 6 разів для кожного сипкого матеріалу, кожного разу фіксують висоту конуса  $h$  і його діаметр  $D$ . По середньому арифметичному значенню цих вимірювань розраховують кут природного укусу  $\alpha$  по формулі (1.1):

$$\alpha = \frac{\arctg h}{D/2} \quad (1.1)$$

Коефіцієнт внутрішнього тертя  $M$ , що також характеризує сипучість, визначають по формулі:

$$M = \tg \alpha \quad (1.2)$$

Результати досліджень заносять в протокол до табл. 1.1.

ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

Визначення кута природного укусу

1. АПАРАТУРА: (прилади, пристосування; тип і основні характеристики)

2. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ:

Таблиця 1.1

№ з/п	Матеріал	Діаметр, мм	Висота, мм	кут $\alpha$ , °
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Випробування провів:

## **Література**

1. Кодра Ю.В., Стоцько З.А., Гаврильченко О.В. Завантажувальні пристрої технологічних машин. Розрахунок і конструювання: Навч. пос. – Львів: „Бескид Біт”, 2008. – 356 с.
2. Чернов М.Е. Упаковка сыпучих продуктов: учебное пособие. - М.: Де Ли, 2000. – 163 с.

## **Контрольні запитання та завдання**

1. Що характеризує кут природного укусу?
2. З чого складається пристрій для вимірювання кута природного укусу?
3. Опишіть методику вимірювання кута природного укусу.
4. Як визначають кут природного укусу?

## Лабораторна робота №2 ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМНОЇ МАСИ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

**Мета роботи:** навчитися визначати об'ємну масу сипких матеріалів, експериментально провести їх визначення, ознайомитися із вживаним устаткуванням і приладами.

### Основні теоретичні положення

Об'ємна маса є важливою характеристикою порошкоподібного матеріалу, оскільки вона визначає вибір способу дозування матеріалу. Об'ємну масу визначають, виходячи з маси порошку, що заповнює при вільному насипанні посудину з певним об'ємом.

Об'ємна маса залежить від помелу, гранулометричного складу і вологості матеріалу, а також від технології його виготовлення і тривалості зберігання.

При вільній засипці об'ємну масу визначають за допомогою мірної посудини, внутрішній об'єм якої відомий з високою точністю. Висота мірної посудини повинна бути рівна двом його внутрішнім діаметрам. Діаметр посудини повинен не менше, чим в 10 разів перевищувати середній розмір частинок сипкого продукту.

Об'ємну масу визначають за допомогою приладу волюметра (рис. 2.1).

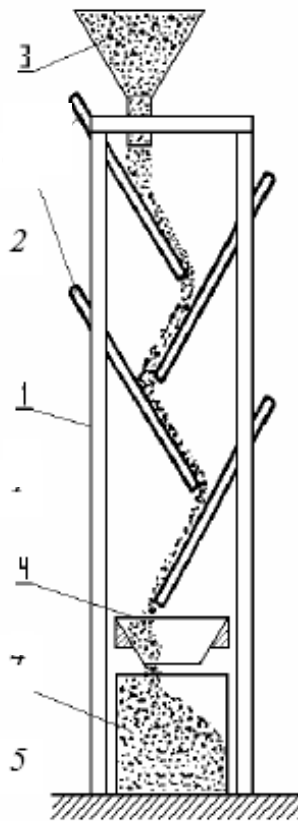


Рис. 2.1 Схеми приладу для визначення об'ємної маси



Волюметр складається з колонки 1, чотирьох скляних поличок 2, воронки 3, в яку засипається порошок, і воронки 4, через яку висипається порошок. Скляні полички 2 закріплені під кутом  $30^\circ$  до вертикалі по дві в протилежних стінках колонки 1.

Порошок із воронки 3, розташованої у верхній кришці приладу, пересипається по похилих поличках 2, приймає рівномірно розпушену структуру і через нижню воронку 4 потрапляє в посудину 5 відомої об'єму і маси. Надлишок порошку знімається з посудини 5 сталевую лінійкою. Наповнена посудина 5 зважується на вагах.

Об'ємна маса порошку розраховується по формулі:

$$\rho_{\text{нас}} = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

де  $m$  - маса порошку, кг;  $V$  - об'єм порошку,  $\text{м}^3$ .

### Порядок виконання роботи і обробки результатів

*Устаткування і матеріали:* волюметр, посудина, лінійка, ваги лабораторні, зразки сипучого матеріалу.

*Хід роботи.*

Засипати досліджуваний матеріал у завантажувальну воронку пристрою, заповнити приймальну посудину та зняти надлишок сталевую лінійкою. Наповнену посудину зважити на лабораторних вагах з точністю до 100 мг та відняти масу посудини.

Повторити експеримент 5 - 6 разів для кожного сипкого матеріалу та взяти середнє значення маси. Поділивши її на об'єм посудини (формула 2.1), отримати значення об'ємної маси.

Порівняти експериментально отримані значення об'ємної маси різних сипких матеріалів з їх довідковими значеннями та визначити відносну похибку:

$$\varepsilon = \frac{\rho_{\text{нас}} - \rho_{\text{дов}}}{\rho_{\text{дов}}} \cdot 100\%$$

Р

езультати досліджень заносять в протокол до табл. 2.1.

ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_  
Визначення об'ємної маси сипких матеріалів

1. АПАРАТУРА: (прилади, пристосування; тип і основні характеристики)
2. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ:

Таблиця 2.1

№ з/п	Матеріал	Об'єм, м <sup>3</sup>	Маса, кг	Об'ємна маса, кг/м <sup>3</sup>	Довідкове значення, кг/м <sup>3</sup>	Відносна похибка, %
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Випробування провів:

### Література

1. Кодра Ю.В., Стоцько З.А., Гаврильченко О.В. Завантажувальні пристрої технологічних машин. Розрахунок і конструювання: Навч. пос. – Львів: „Бескид Біт”, 2008. – 356 с.
2. Чернов М.Е. Упаковка сыпучих продуктов: учебное пособие. - М.: Де Ли, 2000. – 163 с.

### Контрольні запитання та завдання

1. Що таке об'ємна маса, від яких факторів вона залежить?
2. Опишіть будову волюметра
3. Опишіть методику вимірювання об'ємної маси.
4. За якою формулою визначають об'ємну масу?

### Лабораторна робота № 3

## ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ТЕРТЯ ПАКУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

**Мета роботи:** Освоєння методики і оцінка придатності пакувального матеріалу для застосування в пакувальних і поліграфічних машинах, визначення коефіцієнтів тертя пакувальних матеріалів по різних поверхнях

### Основні теоретичні положення

У техніці прийнято розрізняти наступні види тертя:

- тертя ковзання виявляється при ковзанні тіла по деякій поверхні.
- тертя кочення має місце у тому випадку, коли тіло котиться по поверхні.
- тертя спокою виявляється у тому випадку, коли тіло, що перебуває в нерухомому стані, приводиться в рух. Цей вид тертя характеризується статичним коефіцієнтом тертя.
- тертя руху виявляється під час руху тіла по деякій поверхні. Це тертя характеризується динамічним коефіцієнтом тертя, який завжди менше статичного.

Коефіцієнт тертя ковзання визначає зусилля, яке потрібне для ковзання поверхні одного матеріалу по деякій поверхні. Так плівка полімерного пакувального матеріалу, яка погано ковзає по інших поверхнях, має високий коефіцієнт тертя (0,35-0,5), не дозволяє матеріалу легко ковзати по формуючій трубці автомата і не дає йому розвивати оптимальну швидкість.

Занадто низький коефіцієнт тертя, тобто дуже високе ковзання, призводить до інших незручностей - плівка виявляється занадто слизькою. Практика експлуатації фасувально-пакувального обладнання показала, що оптимальним для їх нормальної роботи є коефіцієнт тертя ковзання полімерних матеріалів рівний приблизно 0,25.

Найпростішим методом вимірювання коефіцієнта тертя є використання похилої площини (рис. 3.1).

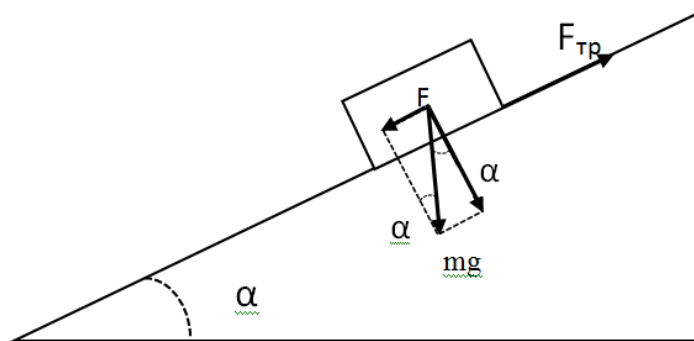


Рис. 3.1. Рух тіла по похилій площині

Руху тіла по похилій площині під дією складової  $F$  сили тяжіння  $mg$  перешкоджає сила тертя  $F_{тр}$ , що з'являється від дії другої складової сили тяжіння  $N$  – нормального тиску. Ці сили залежать від кута нахилу площини і величини сили тяжіння:

$$\begin{aligned} F &= mg \cdot \sin\alpha \\ N &= mg \cdot \cos\alpha \\ F_{тр} &= f \cdot N \end{aligned} \quad (3.1)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя ковзання матеріалу тіла по даній поверхні.

Тіло почне рух по похилій площині при куті нахилу  $\alpha$ , при якому сила  $F$  досягає величини  $F_{тр}$ , тобто у цей момент сила тертя:

$$F_{тр} = F = mg \cdot \sin\alpha \quad (3.2)$$

Отже, коефіцієнт тертя ковзання:

$$f = \frac{F_{тр}}{N} = \frac{mg \cdot \sin\alpha}{mg \cdot \cos\alpha} = \operatorname{tg}\alpha \quad (3.3)$$

Коефіцієнт тертя рівний тангенсу кута нахилу площини і залежить від матеріалу і стану поверхні.

Установка для дослідження коефіцієнтів тертя пакувальних матеріалів складається з похилої площини із змінним кутом нахилу, металевого бруса навантаження, вимірника кута нахилу похилої площини, ріжучого інструменту для вирізування зразків із досліджуваного матеріалу.

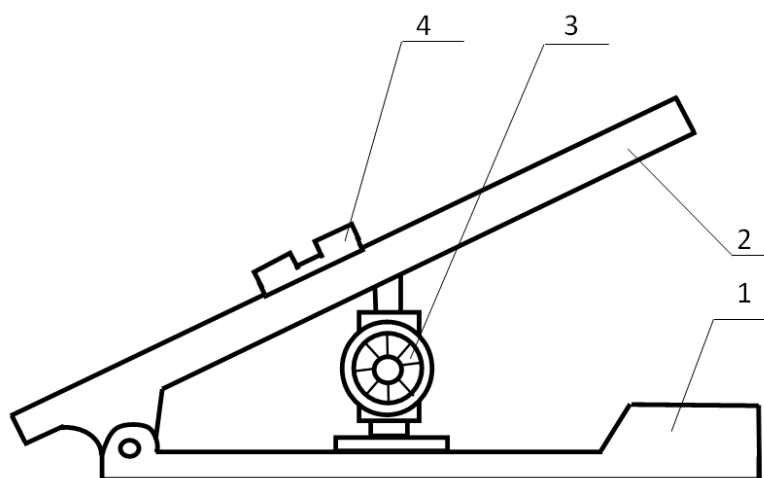


Рис. 3.2. Установка для дослідження коефіцієнтів тертя: 1 – плита настановна;  
2 – плита похила; 3 – механізм підйомний із шкалою кута повороту плити;  
4 – брусок навантаження

Методика вимірювання коефіцієнта тертя ковзання статичного і динамічного по ГОСТ 10354-82 рекомендує використовувати випробувальну установку виді похилої площини, зображеної на рис. 3.2.

### **Порядок виконання роботи і обробки результатів**

*Устаткування і матеріали:* установка для випробувань, зразки матеріалів, зразки поверхні.

*Хід роботи.*

1. Підготувати зразки досліджуваного пакувального матеріалу для закріплення на бруску навантаження.

Для вимірювань необхідно підготувати по 3-5 зразків розмірами 100х320 мм і 60х120 мм так, щоб довжина зразків збігалася із подовжнім напрямом матеріалу. При визначенні коефіцієнта тертя пакувального полімерного матеріалу за цим же матеріалом підготовлений зразок розміром 100х320 мм поміщається уздовж похилої площини, нижній край зразка згинається до нижньої кромки плити і фіксується затисками. На бруску навантаження двома затисками закріплюється зразок розміром 60х120 мм.

Для вимірювання коефіцієнта тертя полімерної плівки за іншим матеріалом зразки розміром 100х320 мм готуються з цих матеріалів. Визначення коефіцієнта тертя по сталі можна виконати безпосередньо на заздалегідь ретельно очищеній поверхні похилої плити.

2. Підготувати зразки матеріалу для закріплення на похилій площині.

3. Зафіксувати досліджувані зразки на похилій площині похилої і бруску навантаження.

4. Виконати вимірювання кута нахилу похилої площини в моменти руху бруска навантаження при вимірюванні статичного коефіцієнта тертя.

Перед проведенням випробувань плита приладу встановлюється в горизонтальне положення по рівню, шкала кута повороту на відмітку «0». На плиту поміщається брусок навантаження, обернутий досліджуваною плівкою, і повільним обертанням диска плита приводиться в похиле положення. У момент початку руху бруска по похилій площині за шкалою фіксується кут нахилу плити, відповідний статичному коефіцієнту тертя:

$$f_{\text{ст}} = \operatorname{tg} \alpha.$$

Повторити вимір не менш трьох разів. За остаточний результат приймається середнє арифметичне значення отриманих вимірювань.

5. Виконати вимірювання кута нахилу похилої площини в моменти зупинки руху бруска навантаження при вимірюванні динамічного коефіцієнта тертя.

6. Повторити експерименти з іншими контактними матеріалами.

7. Визначити значення коефіцієнта тертя і виконати математичну обробку результатів вимірювань.

Результати досліджень заносять в протокол до табл. 3.1.

ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_  
Визначення коефіцієнтів тертя пакувальних матеріалів

1. АПАРАТУРА: (прилади, пристосування; тип і основні характеристики)
2. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ:

**Таблиця 3.1**

№ п/п	Матеріал зразка	Матеріал поверхні	$f_{\text{ст}}$
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Випробування провів:

### Література

1. Кодра Ю.В., Стоцько З.А., Гаврильченко О.В. Завантажувальні пристрої технологічних машин. Розрахунок і конструювання: Навч. пос. – Львів: „Бескид Біт”, 2008. – 356 с.
2. Чернов М.Е. Упаковка сыпучих продуктов: учебное пособие. - М.: Де Ли, 2000. – 163 с.

### Контрольні запитання та завдання

1. Чи залежить коефіцієнт тертя від маси зразка?
2. Опишіть будову пристрою для вимірювання коефіцієнту тертя.
3. Опишіть методику вимірювання коефіцієнту тертя.
4. Поясніть, від чого залежить коефіцієнт тертя.

## Лабораторна робота № 4

### ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ТЕРТЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

**Мета роботи:** Визначення коефіцієнтів тертя сипких матеріалів і освоєння методики

#### Основні теоретичні положення

До найважливіших параметрів, що характеризують фізико-механічні властивості сипких продуктів відносяться коефіцієнти тертя в русі і спокої. Вони використовуються для визначення кутів нахилу спусків, жолобів, гравітаційних і роликів конвейєрів. Дані коефіцієнти виражають зв'язок між частинками сипких продуктів і опорною поверхнею або рухливість їх на похилій поверхні.

Коефіцієнти тертя спокою чисельно рівні тангенсу граничного кута нахилу площини, при якому продукт, що перебуває на ній, приходить в рух. При цьому сила тертя виявляється рівною складовій силі тяжіння, паралельній площини (рис. 4.1).

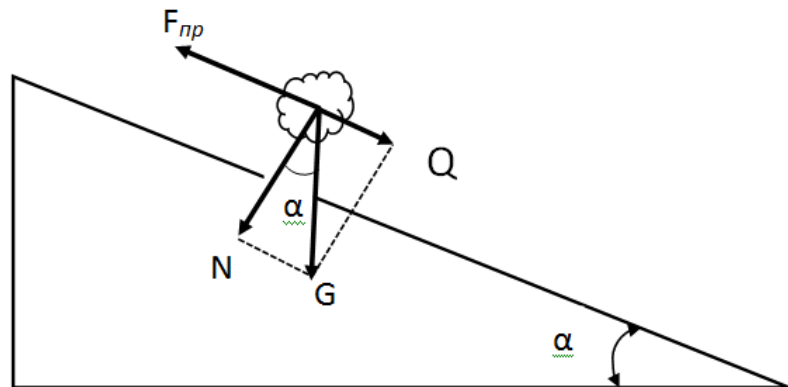


Рис.4.1. Схема сил, що діють на частинку, розташовану на похилій площині.

Маємо:

$$\begin{aligned} F_{\text{тр}} &= f_0 \cdot N = G \cdot \sin \alpha, \\ N &= G \cdot \cos \alpha. \end{aligned} \quad (4.1)$$

тоді

$$f G \cos \alpha = G \sin \alpha \quad (4.2)$$

Після перетворення отримаємо вираз коефіцієнта тертя у спокої:

$$f_0 = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha \quad (4.3)$$

де  $\alpha$  – кут нахилу площини.

Чисельне значення коефіцієнта тертя сипкого продукту в русі визначають розрахунковим шляхом.

Якщо припустити, що частинка  $m$  сипкого продукту (рис. 4.2) масою  $mg$  рухається по похилій площині АО завдовжки  $l$ , то відбувається лише ковзання вантажу по площині без переміщення частинок усередині маси продукту.

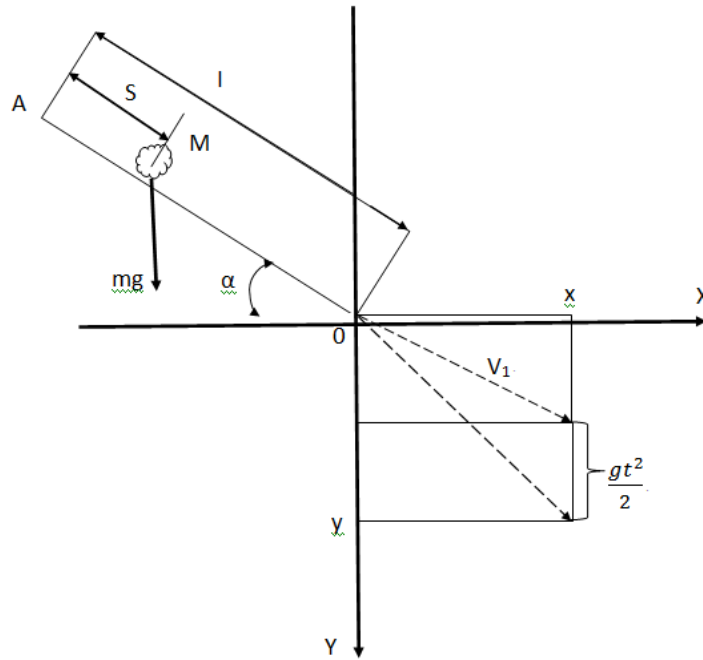


Рис. 4.2. Траєкторія руху частинки при сході з похилої площини

Тобто, нехтуючи опором повітря, вважаємо, що коефіцієнт тертя  $f_d$  частинки  $m$  об площину постійний, тоді рівняння моменту сил для початкового і кінцевого положення частинки наступне:

$$\frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = (mgsin\alpha_0 - mgf_dcos\alpha_0)l \quad (4.4)$$

Така умова зберігається тоді, коли  $\varphi_m > \alpha_0 > \varphi_d$ , де  $\varphi_m$  – кут внутрішнього тертя частинок сипкого продукту;  $\varphi_d$  – кут тертя продукту об площину в русі.

Вирішуючи вищенаведене рівняння відносно  $V_1$  отримаємо:

$$V_1 = \sqrt{2gl(sin\alpha_0 - f_dcos\alpha_0) + V_0^2} \quad (4.5)$$

де  $V_0$  – початкова швидкість руху частинки по похилій площині;  $V_1$  – кінцева швидкість руху її по похилій площині (у точці 0).



Якщо  $V_0 = 0$ , тоді

$$V_1 = \sqrt{2gl(\sin\alpha_0 - f_d \cos\alpha_0)} \quad (4.6)$$

Розглядаючи подальший рух частинки сипкого продукту із початковою швидкістю  $V_1$  під дією сили тяжіння, знайдемо координати її через  $t$  секунд після сходу її з похилої площини.

$$\begin{cases} x = v_1 t \cos\alpha_0 \\ y = v_1 t \sin\alpha_0 + \frac{gt^2}{2} \end{cases} \quad (4.7)$$

Виключивши із цих рівнянь час  $t$ , отримаємо:

$$y = x \operatorname{tg}\alpha_0 + \frac{gx^2}{2v_1^2 \cos^2\alpha_0} \quad (4.8)$$

і підставивши в дане рівняння отриманий вище вираз  $V_1$ , матимемо:

$$y = x \operatorname{tg}\alpha_0 + \frac{gx^2}{4gl(\sin\alpha_0 - f_d \cos\alpha_0) \cos^2\alpha_0} \quad (4.9)$$

Розв'язуючи це рівняння відносно  $f_d$ , визначимо:

$$f_d = \operatorname{tg}\alpha_0 - \frac{1}{4l} \cdot \frac{x^2}{(y - x \operatorname{tg}\alpha_0) \cos^3\alpha_0} \quad (4.10)$$

Таким чином, величина коефіцієнта тертя в русі може бути визначена по траєкторії вільного польоту сипкого продукту, що скидається з похилої площини, після якої він рухається.

Установка для дослідження коефіцієнтів тертя сипких продуктів (рис. 4.3) складається з бункера, похилої площини, яку можна нахиляти гвинтом, укріпленого на ній градуйованого сектора, закріпленого на опорі, що обертається, освітлюваної координатної сітки, внизу якою встановлений приймач для матеріалу.

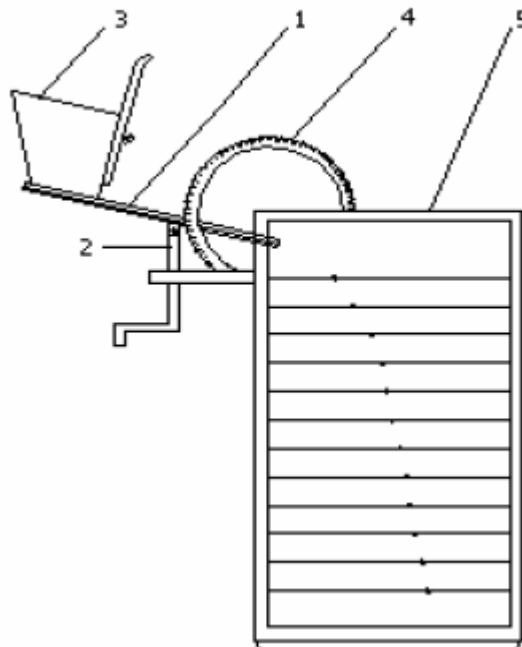


Рис. 4.3. Лабораторна установка для дослідження коефіцієнтів тертя сипких продуктів: 1 – похила площина; 2 – гвинт; 3 – бункер; 4 – градуйований сектор; 5 – координатна сітка

### Порядок виконання роботи

*Устаткування і матеріали:* установка для дослідження коефіцієнтів тертя сипких продуктів, зразки сипкого матеріалу, зразки опорних поверхонь.

*Хід роботи.*

Для визначення коефіцієнта тертя  $f_0$  досліджуваний продукт насипається рівним шаром завтовшки близько 3 мм на похилу площину. Потім підйомом гвинта змінюють нахил площини з продуктом, і в мить, коли він приходить в рух, записують кут тертя  $\alpha_0$ . Після цього змінюють опорну поверхню і знову проводять дослідження. На підставі трьох вимірювань обчислюють середній кут тертя  $\alpha_0$  і по ньому визначають коефіцієнт тертя у спокої  $f_0 = \tan \alpha_0$ . Для кожного сипкого продукту і матеріалу опорної поверхні дослідження проводять не менше трьох раз.

Для визначення коефіцієнта тертя  $f_\phi$  в русі необхідно сипкий продукт насипати в бункер. Потім відкрити засувку і підйомом гвинта здійснити нахил площини з опорним матеріалом. В мить, коли продукт почне сипатися з бункера і ковзати по опорній поверхні, слід зупинити підйом гвинта. При подальшому русі продукту в координатній сітці засікти його координати  $y_1$  і  $x_1$ ,  $y_2$  і  $x_2$ ,  $y_3$  і  $x_3$ , і т.д.

Дослідження провести для різних сипких матеріалів при різних опорних матеріалах. Після підстановки одержаних даних  $Y_i$  і  $X_i$  у відповідну формулу слід визначити  $f_\phi$  і середнє значення даного коефіцієнта.

Результати досліджень заносять в протокол до табл. 4.1.

ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_  
Визначення коефіцієнтів тертя сипких продуктів

1. АПАРАТУРА: (прилади, пристосування; тип і основні характеристики)
2. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ:

**Таблиця 4.1**

№ з/п	Матеріал поверхні	Сипкий матеріал	$f_0$	$x$ , мм	$y$ , мм	$f_\partial$
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Випробування провів:

**Література**

1. Кодра Ю.В., Стоцько З.А., Гаврильченко О.В. Завантажувальні пристрої технологічних машин. Розрахунок і конструювання: Навч. пос. – Львів: „Бескид Біт”, 2008. – 356 с.
2. Чернов М.Е. Упаковка сыпучих продуктов: учебное пособие. - М.: Де Ли, 2000. – 163 с.

**Контрольні запитання та завдання**

1. Чим відрізняється динамічний коефіцієнт тертя від статичного?
2. Опишіть будову пристрою для вимірювання коефіцієнту тертя
3. Опишіть методику вимірювання статичного коефіцієнту тертя.
4. Опишіть методику вимірювання динамічного коефіцієнту тертя.

## Лабораторна робота № 5

### ВИЗНАЧЕННЯ УМОВНОЇ В'ЯЗКОСТІ РІДКИХ ПРОДУКТІВ

**Мета роботи:** Визначити параметри в'язкості і текучості рідких продуктів, освоєння методики та устаткування

#### Основні теоретичні положення

Згідно закону Ньютона стан рідини під час течії визначається залежністю:

$$\tau = \eta \left( \frac{dU}{dr} \right),$$

де  $\tau$  – дотичне напруження в рідині;  $\frac{dU}{dr} = \dot{\gamma}$  – градієнт швидкості рідини в поперечному перерізі каналу;  $\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \text{const}$  – в'язкість.

Згідно закону Пуазейля, рух рідини в круглому каналі описується виразом:

$$\Delta p = \frac{128\eta l V}{\pi d^4},$$

де  $\Delta p$  – різниця тисків на довжині досліджуваної ділянки каналу;  $\eta$  – динамічна в'язкість продукту;  $V$  – витрата продукту;  $l$  та  $d$  відповідно довжина та діаметр каналу.

Якщо перепад тиску створений силою тяжіння стовпа рідини, то він визначається величиною

$$\Delta p = \rho g h,$$

де  $h$  – висота стовпа рідини.

Віскозиметр ВЗ 246 призначений для визначення умовної в'язкості (часу витікання) лакофарбових матеріалів, зубних паст, клеїв і продуктів, що відносяться до них, по ГОСТ 8920-74.



Рис. 5.1. Віскозиметр капілярний ВЗ-246

Віскозиметр складається з ємкості і капіляра в її нижній частині. Капіляри можуть бути змінними з різною довжиною та діаметрами каналу.

Принцип дії віскозиметра: в резервуар заливається досліджувана рідина і за допомогою секундоміра визначається час витікання в секундах 100 мл випробовуваної рідини через капіляр віскозиметра. Об'єм рідини відміряється мірною ємкістю. Отриманий час витікання і береться за умовну в'язкість.

Якщо під час витікання рідини з віскозиметра підтримувати в ньому постійний рівень, то можна визначити і динамічну в'язкість продукту.

### Порядок виконання роботи і обробки результатів

*Устаткування і матеріали:* віскозиметр капілярний ВЗ-246, набір капілярів, секундомір, мірна ємкість.

*Хід роботи.*

Закрити вихідний отвір капіляра і залити у віскозиметр досліджувану рідину. Відкрити отвір одночасно зі стартом секундоміра та визначити час витікання 100 мл випробовуваної рідини. Повторити дослід не менш трьох раз та визначити середнє значення. Повторити виміри з різними капілярами та рідинами.

Результати досліджень заносять в протокол до табл. 5.1.

ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_  
Визначення умовної в'язкості рідких продуктів

1. АПАРАТУРА: (прилади, пристосування; тип і основні характеристики)
2. РІДИНА
3. УМОВИ ВИПРОБУВАНЬ: (температура  $T = \dots$  °C)
4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ:

Таблиця 5.1

№ з/п	Рідина	Діаметр капіляра, мм	Температура, °C	Час витікання, с
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Випробування провів:

## **Література**

1. Машины для фасования пищевых жидкостей в бутылки / Ц.Р. Зайчик, В.А. Трунов, В.К. Яшин. - М.: Агропромиздат, 1989. – 239 с.
2. Погрузочно-разгрузочные и транспортные операции на линиях розлива пищевых продуктов /А.И. Соколенко, М.И. Юхно, О. И. Ковалев и др. - М.: Агропромиздат, 1986. – 220 с.

## **Контрольні запитання та завдання**

1. Що таке умовна в'язкість? В яких одиницях вона вимірюється?
2. Опишіть закон Ньютона для рідин.
3. Опишіть закон Пуазейля.
4. Який перепад тиску створюється силою тяжіння стовпа рідини?

## Лабораторна робота № 6

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДОЗУВАННЯ СИПКИХ ПРОДУКТІВ ПІД ДІЄЮ СИЛИ ГРАВІТАЦІЇ

**Мета роботи:** Визначити закономірності процесу витоку сипких матеріалів з резервуару під дією сили гравітації

#### Основні теоретичні положення

Швидкість витікання матеріалу з випускного отвору бункера визначається по формулі:

$$v = \lambda \sqrt{2 \cdot \left[ \frac{1+f^2}{f} \cdot \left( R_k \cdot g - \frac{\tau_0}{\rho} \right) - \frac{\tau_0}{\rho} \cdot \sqrt{1+f^2} \right]}, \quad (6.1)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт переміщення продукту, залежний від його структурно-механічних характеристик;  $f$  – коефіцієнт тертя продукту по бічних стінках випускного отвору бункера;  $R_k$  – розрахунковий еквівалентний розмір випускного отвору;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $\tau_0$  – початкове напруження зсуву продукту;  $\rho$  – об’ємна маса продукту.

Як правило, випускні отвори бункерів дозаторів виконують прямокутної форми з розмірами  $a \cdot b$ , з можливістю регулювання заслінкою для зміни продуктивності. Розрахунковий розмір такого отвору визначається із залежності:

$$R_k = \frac{(a-d)(b-d)}{2(a+b-2d)},$$

де  $d$  – найбільший лінійний розмір частинки продукту, що дозується.

Швидкість переміщення продукту в бункері (див. рис. 6.1) визначається із виразу:

$$v_p = \sqrt{2gl \left[ \sin \varphi - f \cos \varphi \left( 1 + \frac{n \cdot h}{D} \right) \right]}, \quad (6.2)$$

де  $l$  – довжина похилих поверхонь бункера;  $\varphi$  – кут нахилу стінок бункера до горизонту;  $h$  – висота шару продукції біля бічних стінок бункера;  $n$  – коефіцієнт тиску продукту на бічні стінки бункера;  $D$  – діаметр бункера.

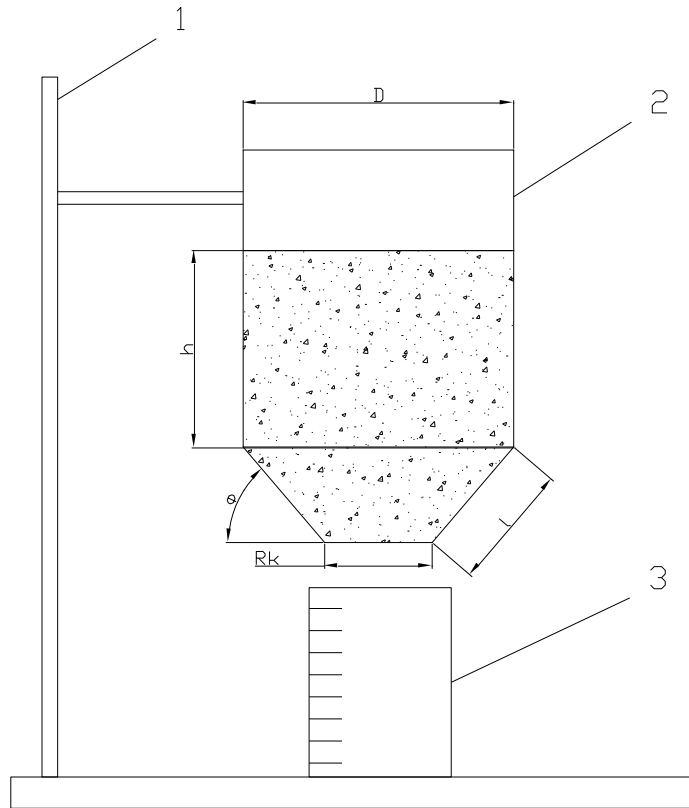


Рис. 6.1. Схема дослідної установки: 1 – штатив; 2 – бункер; 3 – мірна ємкість

### Порядок виконання роботи і обробки результатів

*Устаткування і матеріали:* штатив, бункер, мірна ємкість, секундомір, лінійка, штангенциркуль.

*Хід роботи.*

Засипати в бункер (рис. 6.1) досліджуваний матеріал і виміряти висоту його стовпа, використовуючи лінійку. Відкрити випускний отвір і, роблячи відсічки часу секундоміром, зсипати матеріал в мірну ємкість в декілька (3-5) етапів з проміжними зупинками, перекриваючи випускний отвір. Під час зупинок вимірювати висоту стовпа матеріалу в бункері та витрату матеріалу за визначений період часу.

Кожний дослід повторити не менш трьох раз та визначити середнє значення. Повторити виміри з різними сипкими матеріалами, які досліджувались в лабораторних роботах № 1, №2 та №4.

Визначити коефіцієнт переміщення продукту з формули (6.1), використавши досліджені механічні характеристики матеріалу за результатами виконання лабораторних робіт № 1, №2 та №4.

Визначити коефіцієнт тиску продукту на бічні стінки бункера з формули (6.2).

Результати досліджень заносять в протокол до табл. 6.1.



ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_  
Дослідження процесу дозування сипких продуктів під дією сили гравітації

1. АПАРАТУРА: (прилади, пристосування; тип і основні характеристики)
2. МАТЕРІАЛИ: (тип)
3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ:

**Таблиця 6.1**

№ з/п	Матеріал	Висота стовпа матеріалу, мм	Витрата, м <sup>3</sup> /с	Коефіцієнт переміщення	Коефіцієнт тиску на бічні стінки
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Випробування провів:

### Література

1. Сторіжко Й.І., Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. Термінологічний довідник пакувальника. - К.: ІАЦ „Упаковка”, 1999. - 80 с.
2. Упаковка грузов: справочник / Н.В.Акимов, Н.Н.Андропова, Н.М.Гаврюшин и др. - М.: Транспорт, 1992. – 480 с.
3. Каталымов А.В., Любартович С.В. Дозирование сыпучих и вязких материалов. - Л.: Химия, 1990. – 240 с.

### Контрольні запитання та завдання

1. Чим відрізняється швидкість переміщення матеріалу в бункері від швидкості витікання з випускного отвору?
2. Як визначається розрахунковий еквівалентний розмір випускного отвору?
3. Опишіть методику проведення дослідів.
4. Як змінюють витрату матеріалу з бункерів?

## Лабораторна робота № 7

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДОЗУВАННЯ РІДКИХ ПРОДУКТІВ ПІД ДІЄЮ СИЛИ ГРАВІТАЦІЇ

**Мета роботи:** Визначити закономірності процесу витоку рідких матеріалів з резервуару під дією сили гравітації

#### Основні теоретичні положення

Згідно закону Ньютона стан рідини під час течії визначається залежністю:

$$\tau = \eta \left( \frac{dU}{dr} \right),$$

де  $\tau$  – дотичне напруження в рідині;  $\frac{dU}{dr} = \dot{\gamma}$  – градієнт швидкості (або швидкості зсуву) рідини в поперечному перерізі каналу;  $\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \text{const}$  – в'язкість.

Неньютонівська рідина – рідина, яка не підкоряється закону Ньютона:

$$\eta = f \left( \frac{dU}{dr}, T \right).$$

Найчастіше залежність між напруженням та режимом течії неньютонівських рідин апроксимують степеневим законом:

$$\tau = k \dot{\gamma}^n,$$

звідки з урахуванням того, що  $\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$ ,

$$\eta = k \dot{\gamma}^{n-1},$$

де  $k$  – коефіцієнт консистенції, який є в'язкістю при швидкості зсуву, що прагне до 0;  $n$  – показник текучості розплаву.

За  $n = 1$  степеневий закон перетворюється на закон Ньютона. У випадку, коли  $n < 1$ , в'язкість рідини знижується зі збільшенням градієнта швидкості, і така рідина називається псевдопластичною. Коли  $n > 1$ , в'язкість рідини збільшується зі збільшенням градієнта швидкості, і така рідина називається ділатантною.

Оскільки в логарифмічних координатах формула в'язкості перетворюється в пряму:  $\lg \eta = (n-1) \lg \dot{\gamma} - \lg k$ , для полегшення апроксимації експериментальних даних графік залежності в'язкості від швидкості зсуву будують в логарифмічних координатах (рис. 7.1).

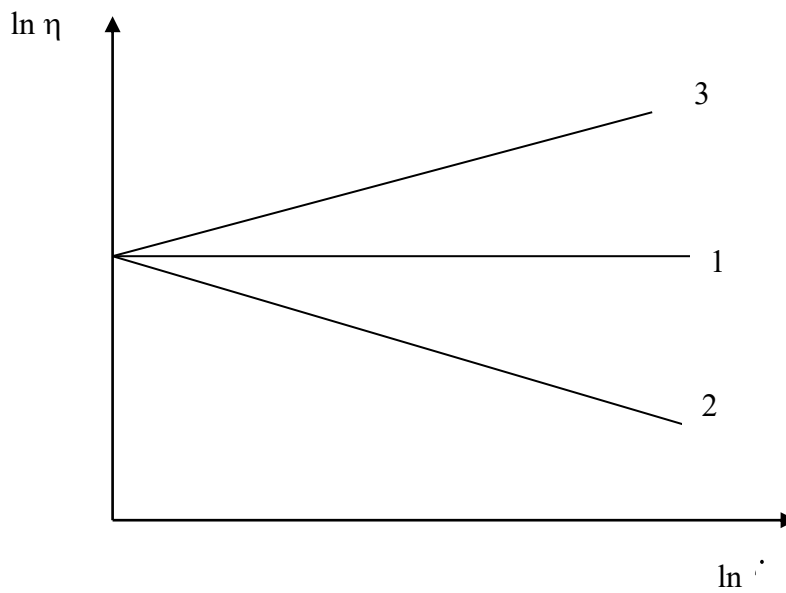


Рис. 7.1. Залежності в'язкості від градієнта швидкості для різних типів рідини:  
1 – ньютонівської; 2 – псевдопластичної; 3 – дилатантної

Градієнт швидкості рідини поблизу стінки круглого каналу визначається за формулою:

$$\dot{\gamma} = \frac{32V}{\pi d^3},$$

де  $V$  – витрата рідини;  $d$  – діаметр каналу.

Дотичне напруження в рідині в круглому каналі описується виразом:

$$\tau = \frac{\Delta p d}{4l},$$

де  $\Delta p$  – перепад тиску на довжині досліджуваної ділянки каналу;  $l$  – довжина каналу.

Якщо перепад тиску створений силою тяжіння стовпа рідини, то він визначається величиною:

$$\Delta p = \rho g h,$$

де  $h$  – висота стовпа рідини.

Дослідження в'язкісних властивостей рідин можна проводити за допомогою віскозиметрів різних типів, найбільш поширеним серед них є капілярний віскозиметр (рис. 7.2). Віскозиметр складається з ємкості 2 і капіляра 3 в її нижній частині. Капіляри можуть бути змінними з різною довжиною та діаметрами каналу.

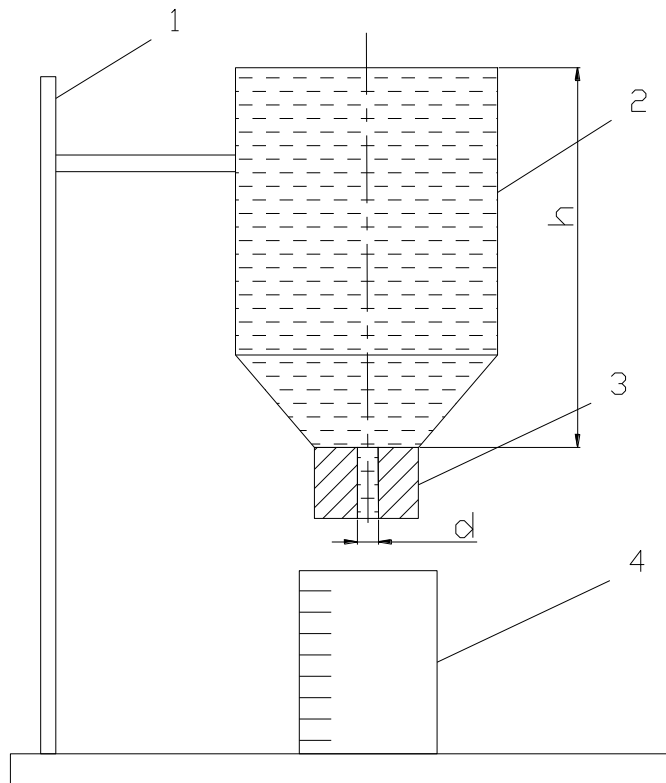


Рис. 7.2. Схема дослідної установки: 1 – штатив; 2 – бункер; 3 – змінний капіляр; 4 – мірна ємкість

### Порядок виконання роботи і обробки результатів

*Устаткування і матеріали:* віскозиметр капілярний, набір капілярів, секундомір, мірна ємкість.

*Хід роботи.* Залити в ємкість віскозиметра (рис. 7.2) досліджувану рідину до країв. Відкрити випускний отвір і, зробивши відсічку часу секундоміром, злити певний об'єм рідини в мірну ємкість, підтримуючи повне заповнення віскозиметра. Кожний дослід повторити не менш трьох раз та визначити середнє значення. Визначити середню витрату рідини.

Розрахувати градієнт швидкості, дотичне напруження в рідині та її в'язкість.

Повторити дослід з якнайменше трьома капілярами.

Побудувати залежність між градієнтом швидкості та в'язкістю рідини в програмі Excel в логарифмічних координатах (тип діаграми – точечна без з'єднання) та апроксимувати її степеневою лінією тренду.

Виписати з параметрів лінії тренду значення  $k$  та  $n$ .

Зробити висновок про тип рідини.

Повторити дослід з різними рідинами.

Результати досліджень заносять в протокол до табл. 7.1.

ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_  
Дослідження процесу дозування рідких продуктів під дією сили гравітації

1. АПАРАТУРА: (прилади, пристосування; тип і основні характеристики)
2. РІДИНА
3. УМОВИ ВИПРОБУВАНЬ: (температура  $T = \dots$  °C)
4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ:

**Таблиця 7.1**

№ п/п	Рідина	Діаметр x довжина капіляра, мм	Температура, °C	Витрата, м <sup>3</sup> /с	Динамічна в'язкість, Па·с
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Випробування провів:

### Література

1. Машины для фасования пищевых жидкостей в бутылки / Ц.Р. Зайчик, В.А. Трунов, В.К. Яшин. - М.: Агропромиздат, 1989. – 239 с.
2. Погрузочно-разгрузочные и транспортные операции на линиях розлива пищевых продуктов /А.И. Соколенко, М.И. Юхно, О. И. Ковалев и др. - М.: Агропромиздат, 1986. – 220 с.
3. Катаымов А.В., Любартович С.В. Дозирование сыпучих и вязких материалов. - Л.: Химия, 1990. – 240 с.

### Контрольні запитання та завдання

1. Що таке неньютонівська рідина?
2. Опишіть закон Ньютона для рідин.
3. Опишіть види та властивості неньютонівських рідин.
4. Які з досліджених рідин проявили неньютонівські властивості (і які саме)?

## Лабораторна робота № 8

### ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАСТИЧНИХ ПРОДУКТІВ

**Мета роботи:** Визначити основні параметри стану пластичних продуктів під дією механічного навантаження.

#### Основні теоретичні положення

Ідеально пластичним середовищем вважають таку, яка до досягнення деякого граничного напруження поводить себе як тверде тіло, а після його перевищення – як рідина з нікчемно малою в'язкістю, не чинячи опору.

На практиці межа текучості виражена не настільки різко, а в'язкість є істотною. Найчастіше стан в'язкопластичних середовищ описують моделлю Шведова-Бінгама:

$$\tau = \tau_0 + \eta \dot{\gamma},$$

де  $\tau$  – напруження зсуву;  $\tau_0$  – межа текучості;  $\eta$  – динамічна в'язкість;  $\dot{\gamma}$  – швидкість деформації рідини.

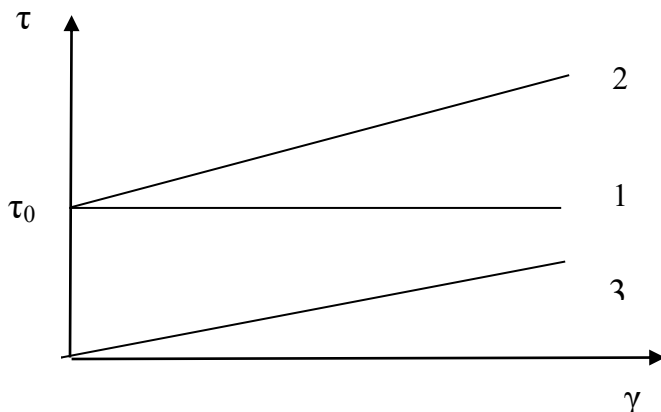


Рис. 8.1. Залежність напруження зсуву від швидкості деформування:

- 1 – ідеально пластичне середовище (середовище Сен-Венана);
- 2 – в'язкопластичне середовище (середовище Шведова-Бінгама);
- 3 – ньютонівська рідина.

Середовища, що поведуть себе так само, зазвичай являють собою 2 різні середовища, що складаються з рідини і наповнювача, створюючі просторову сітку.

При застосуванні деякого напруження таке середовище поведуть себе подібно до твердого тіла, практично не деформуючись до певної межі. Після цього граничного напруження просторова сітка руйнується, і під дією навантаження матеріал починає текти подібно до рідини.

Згідно закону Ньютона, рідкий стан речовини відповідає залежності:

$$\tau = \eta \dot{\gamma},$$

де  $\tau$  – напруження в рідині;  $\dot{\gamma}$  – швидкість деформації рідини;  $\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$  – динамічна в'язкість.

Для визначення граничного напруження зсуву матеріалів, за якого відбувається в'язка течія матеріалу, застосовують прилади, які називаються пластометрами. Вони містять платформу, на яку встановлюється дослідний зразок, та вертикальний штوك з конічним індентором на нижньому кінці.

На рис. 8.2 зображена схема пластометра.

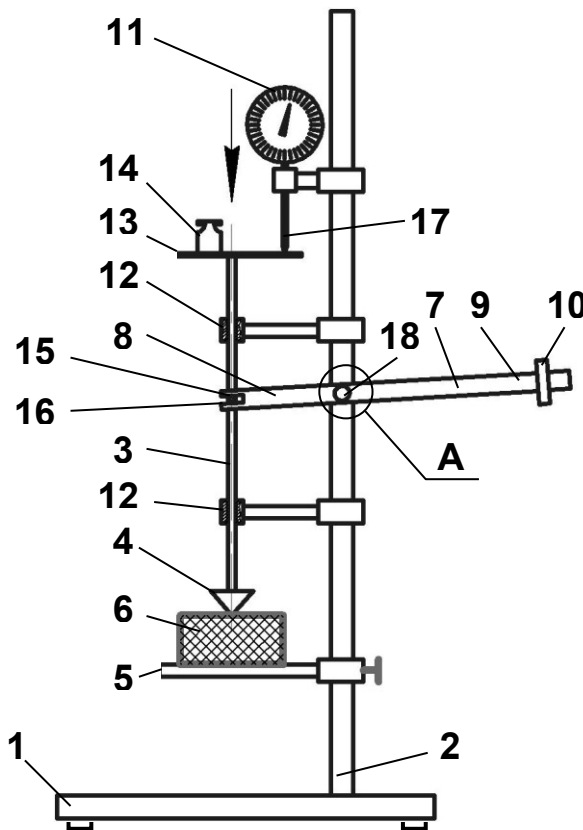


Рис. 8.2. Схема дослідної установки (пояснення в тексті)

Пластометр містить платформу 1, вертикальну стійку 2, вертикальний шток 3 з конічним індентором 4 на нижньому кінці, розташований під індентором 4 предметний столик 5 з можливістю регулювання його положення по висоті, призначений для розміщення на ньому зразка 6 досліджуваного матеріалу.

На стійці 2 шарнірно закріплений важіль 7 з одним плечем 8 для взаємодії зі штоком 3 і з другим плечем 9 для закріплення на ньому протизаги 10, а також засіб 11 для вимірювання переміщення штока 3.

Шток 3 розміщено в закріплених на стійці 2 напрямних 12 з можливістю руху у вертикальному напрямку. На верхньому кінці штока 3 змонтовано горизонтальну опорну плиту 13 для розміщення на ній знімних вантажів 14. Шток 3 споряджено штифтом 15 для розміщення в прорізі 16 або пази плеча 8 важеля 7.

Засіб 11 для вимірювання переміщення штока 3 закріплено на стійці 2, а його чутливий елемент 17 встановлено з можливістю взаємодії зі штоком 3 через опорну плиту 13.

Напруження в матеріалі можна визначити за формулою:

$$\tau = \frac{G}{F},$$

де  $G$  – вага навантаження;  $F$  – площа зразка.

Відносна деформація зразка:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h},$$

де  $h$  – висота зразка;  $\Delta h$  – абсолютна (вимірювана) деформація.

Швидкість деформування визначається усереднено за деякий проміжок часу:

$$\dot{\gamma} = \frac{\varepsilon}{t}.$$

### **Порядок виконання роботи і обробки результатів**

*Устаткування і матеріали:* пластометр, індикатор годинникового типу, секундомір, зразки пластичних матеріалів.

*Хід роботи.*

На штоку 3 (рис. 8.2) закріплюють потрібний для даного зразка 6 конічний індентор 4 і врівноважують масу рухомих елементів пластометра, зсуваючи протизагу 10 по плечу 9 важеля 7, після чого розташування протизаги 10 і штока 3 фіксують. Зразок 6 досліджуваного матеріалу розміщують на предметному столику 5, після чого закріплюють останній в положенні, коли зразок 6 торкається вершини конусу індентора 4. На опорну плиту 13 встановлюють вантаж 14 та знімають фіксацію зі штока 3.

Після зупинки індентора 4 величину його переміщення фіксують індикатором годинникового типу 11. Потім предметний столик 5 опускають, за необхідності зразку 6 знов надають необхідної для вимірювань форми, та досліди повторюють. Значення граничного напруження зсуву матеріалу зразка визначають за відомими математичними залежностями.

За результатами вимірювань побудувати графік залежності напруження в матеріалі від відносної деформації. Визначити межу текучості та в'язкість матеріалу.

Результати досліджень заносять в протокол до табл. 8.1.



ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_  
Дослідження механічних характеристик пластичних продуктів

1. АПАРАТУРА: (прилади, пристосування; тип і основні характеристики)
2. МАТЕРІАЛ: (тип)
3. УМОВИ ВИПРОБУВАНЬ: (температура  $T = \dots$  °C)
4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ:

**Таблиця 8.1**

показник	№ прикладу						
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7
Вага навантаження, Н							
Проміжок часу, с							
Абсолютна деформація, мм							
Напруження, Па							
Відносна деформація							

Випробування провів:

### Література

1. Каталымов А.В., Любартович С.В. Дозирование сыпучих и вязких материалов. - Л.: Химия, 1990. – 240 с.
2. Машины для фасования пищевых жидкостей в бутылки / Ц.Р. Зайчик, В.А. Трунов, В.К. Яшин. - М.: Агропромиздат, 1989. – 239 с.
3. Погрузочно-разгрузочные и транспортные операции на линиях розлива пищевых продуктов /А.И. Соколенко, М.И. Юхно, О. И. Ковалев и др. - М.: Агропромиздат, 1986. – 220 с.

### Контрольні запитання та завдання

1. Що таке ідеально пластичне середовище?
2. Опишіть властивості середовища Сен-Венана.
3. Опишіть будову та принцип дії експериментальної установки.
4. Як визначають граничне напруження зсуву пластичного матеріалу?

## Лабораторна робота № 9

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДОЗУВАННЯ СИПКИХ ПРОДУКТІВ У ШНЕКОВОМУ ЖИВИЛЬНИКУ

**Мета роботи:** Вивчити конструктивні особливості шнекового живильника та параметри процесу дозування сипких матеріалів.

#### Основні теоретичні положення

Для подачі порошкоподібних матеріалів, подрібнення яких допускається технологічним процесом, для важкосипучих, порошкоподібних і таких продуктів, що порошать, злипаються, застосовуються так звані шнекові живильники із гвинтовим рухом робочих органів.

Основним робочим органом є шнек, що є виточеною деталлю або, частіше всього, металевою стрічкою, зігнуту спіраллю і приварену до валу. Існує умовна класифікація, за якої якщо відношення зовнішнього діаметру витків до внутрішнього перевищує 2, називають «шнек», якщо ні – то «черв'як».

Шнекові дозатори працюють за принципом об'ємного дозування. Їх продуктивність можна регулювати частотою обертання шнека і ступенем його заповнення. Остання здійснюється шиберною заслінкою, що встановлюється на завантажувальній горловині.

Для безперервного транспортування сипкого матеріалу продуктивність можна визначити як:

$$V = S \cdot v,$$

де  $S$  – площа поперечного перетину потоку матеріалу;  $v$  – швидкість подачі матеріалу.

Витки шнека живильника звичайно виготовляються із металевої стрічки, яку потім приварюють до валу.

Якщо товщина стрічки мала, то в розрахунках їй можна нехтувати:

$$S = \lambda \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4},$$

де  $D$  – зовнішній діаметр витків;  $d$  – діаметр валу;  $\lambda$  – коефіцієнт заповнення перетину.

Не допускають 100% заповнення матеріалу перетину, щоб уникнути утворення заторів і потрапляння матеріалу в підшипники, зазвичай приймають  $\lambda = 0.125 \dots 0.4$ . Для вертикальних живильників коефіцієнт заповнення може бути більшим (до 1).

$$v = \frac{t \cdot n}{60},$$

де  $t$  – крок навивки витків, зазвичай рівний  $(0.5...1) \cdot D$ ;  $n$  – число обертів валу за хвилину.

Таким чином, об'ємна продуктивність шнекового живильника:

$$V = \lambda \frac{\pi t n (D^2 - d^2)}{4 \cdot 60} \psi,$$

де  $\psi$  – коефіцієнт зниження продуктивності при нахилі жолоба уверх.

Вагова продуктивність визначиться як

$$P = V \cdot \rho,$$

де  $\rho$  – насипна густина продукту.

Живильник складається з вертикальної завантажувальної воронки 1, виконаній у вигляді усіченого конуса. До нижньої частини конуса кріпиться патрубок 2, всередині якого розташований дозуючий шнек 3.

Для запобігання утворення склепіння у воронці передбачена лопатева мішалка 4. Привід шнека здійснюється від електроприводу з ЛАТРом, що забезпечує можливість плавного регулювання числа обертів шнека.

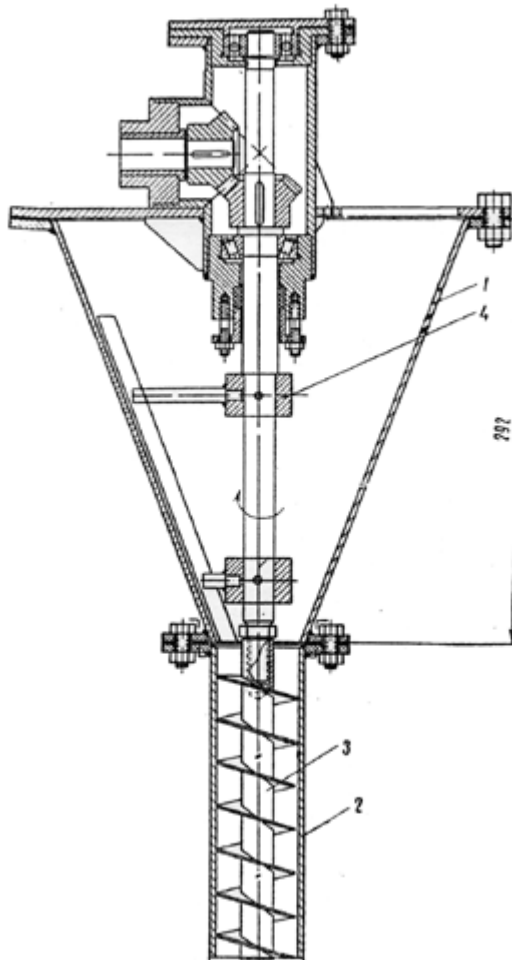


Рис. 9.1. Схема вертикального шнекового живильника

## Порядок виконання роботи і обробки результатів

*Устаткування і матеріали:* шнековий живильник, мірна ємкість, ваги, секундомір, штангенциркуль.

*Хід роботи.*

Засипати матеріал, що дозується, в мірну ємкість і зважити її. Розрахувати об'ємну масу матеріалу. Дослід повторити не менш трьох разів та взяти середнє значення.

Засипати матеріал, що дозується, в бункер живильника. Встановити за допомогою ЛАТРу певну швидкість обертання шнека, увімкнути секундомір і підставити під вихідний патрубок порожню тару. По закінченню обраного періоду часу вимкнути привід і зважити тару. Дослід повторити не менш трьох разів та взяти середнє значення. Повторити дослідження на трьох-чотирьох значеннях швидкості обертання шнека. Визначити фактичну продуктивність живильника на різних швидкостях.

Розрахувати теоретичну продуктивність живильника в умовах, відповідних дослідним. Визначити відносну похибку експериментальних досліджень. Побудувати графіки дослідної та теоретичної продуктивності живильника від швидкості обертання шнека. Зробити висновки.

Результати досліджень заносять в протокол до табл. 9.1.

ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

Дослідження процесу дозування сипких продуктів у шнековому живильнику

1. АПАРАТУРА: (прилади, пристосування; тип і основні характеристики)
2. МАТЕРІАЛ: (тип)
3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ:

Таблиця 9.1

№ п/п	Об'ємна маса матеріалу, кг/м <sup>3</sup>	Вагова продуктивність експерим., кг/с	Вагова продуктивність розрах., кг/с	Відносна похибка, %
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Випробування провів:

## **Література**

1. Гавва О.М., Беспалько А.П. Пакувальне обладнання. - К.: ІАЦ «Упаковка», 2008.
2. Кодра Ю.В., Стоцько З.А., Гаврильченко О.В. Завантажувальні пристрої технологічних машин. Розрахунок і конструювання: Навч. пос. – Львів: „Бескид Біт”, 2008. – 356 с.
3. Чернов М.Е. Упаковка сыпучих продуктов: учебное пособие. - М.: Де Ли, 2000. – 163 с.
4. Упаковка грузов: справочник / Н.В.Акимов, Н.Н.Андропова, Н.М.Гаврюшин и др. - М.: Транспорт, 1992. – 480 с.
5. Катылов А.В., Любартович С.В. Дозирование сыпучих и вязких материалов. - Л.: Химия, 1990. – 240 с.

## **Контрольні запитання та завдання**

1. Опишіть будову та принцип роботи шнекового живильника.
2. Опишіть методику експериментального вимірювання вагової продуктивності шнекового живильника.
3. Вкажіть призначення та обмеження при використанні шнекових живильників.
4. Як визначають продуктивність шнекового живильника?

## Лабораторна робота № 10

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПОХИБКИ ПРОЦЕСУ ОБ'ЄМНОГО БЕЗПЕРЕРВНОГО ДОЗУВАННЯ СИПКИХ ПРОДУКТІВ ШНЕКОВИМ ЖИВИЛЬНИКОМ

**Мета роботи:** Вивчити основні критерії точності дозування та визначити їх при використанні шнекового живильника.

#### Основні теоретичні положення

Основним критерієм оцінки точності дозування в основному приймають середньоквадратичне відхилення маси проби від її заданого значення:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})^2}{n-1}},$$

де  $m_i$  – маса  $i$ -тої проби;

$\bar{m}$  – середня маса матеріалу в пробах;

$n$  – загальне число відібраних проб.

Для порівняльної оцінки використовують коефіцієнт варіації точності дозування:

$$\delta = \frac{S}{\bar{m}} 100\%.$$

Середня абсолютна погрішність дозування визначається за формулою:

$$\delta_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q_p)}{n},$$

де  $Q_i$  – дійсна витрата;

$Q_p$  – розрахункова витрата.

#### Порядок виконання роботи і обробки результатів

*Устаткування і матеріали:* шнековий живильник, мірна ємкість, ваги, секундомір, штангенциркуль.

*Хід роботи.*

Засипати матеріал, що дозується, в мірну ємкість і зважити її. Розрахувати об'ємну масу матеріалу. Дослід повторити не менш трьох разів та взяти середнє значення.

Засипати матеріал, що дозується, в бункер живильника. Встановити за допомогою ЛАТРу певну швидкість обертання шнека, увімкнути секундомір і підставити під вихідний патрубок порожню тару. По закінченню обраного періоду часу вимкнути привід і зважити тару. Дослід повторити не менш трьох разів та взяти середнє значення. Повторити дослідження на трьох-чотирьох значеннях швидкості обертання шнека. Визначити фактичну продуктивність живильника на різних швидкостях.

Використовуючи результати виконання попередньої роботи, розрахувати для кожної швидкості обертів шнека середнє квадратичне відхилення, коефіцієнт варіації точності дозування та середню абсолютну погрішність дозування.

Результати досліджень заносять в протокол до табл. 10.1.

#### ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

Дослідження похибки процесу об'ємного безперервного дозування сипких продуктів шнековим живильником

1. АПАРАТУРА: (прилади, пристосування; тип і основні характеристики)
2. МАТЕРІАЛ: (тип)
3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ:

**Таблиця 10.1**

№ п/п	Об'ємна маса матеріалу, кг/м <sup>3</sup>	Вагова продуктивність експерим., кг/с	Середнє квадратичне відхилення	Коефіцієнт варіації точності дозування	Середня абсолютна погрішність
1					
2					
3					
Сер.					
1					
2					
3					
Сер.					
1					
2					
3					
Сер.					

Випробування провів:

## **Література**

1. Гавва О.М., Беспалько А.П. Пакувальне обладнання. - К.: ІАЦ «Упаковка», 2008.
2. Кодра Ю.В., Стоцько З.А., Гаврильченко О.В. Завантажувальні пристрої технологічних машин. Розрахунок і конструювання: Навч. пос. – Львів: „Бескид Біт”, 2008. – 356 с.
3. Чернов М.Е. Упаковка сыпучих продуктов: учебное пособие. - М.: Де Ли, 2000. – 163 с.
4. Катылов А.В., Любартвич С.В. Дозирование сыпучих и вязких материалов. - Л.: Химия, 1990. – 240 с.

## **Контрольні запитання та завдання**

1. Що таке середньоквадратичне відхилення?
2. Як визначити коефіцієнт варіації точності дозування?
3. Як визначити середню абсолютну погрішність?
4. Як залежать показники точності дозування від швидкості обертів шнека?



## Лабораторна робота № 11

### ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛІВКОВИХ ПАКУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

**Мета роботи:** визначення розривної міцності та розривного подовження плівкових пакувальних матеріалів.

#### Основні теоретичні положення

Під час розтягування плівкових матеріалів з поступовим збільшенням зусилля їх довжина збільшується, а поперечний переріз відповідно зменшується зі збереженням об'єму зразка. Подовження зразка в момент його розриву називають розривним подовженням:

$$\varepsilon = \frac{L_p - L_o}{L_o} \cdot 100\%,$$

де  $L_o$  – початкова довжина зразка;  $L_p$  – довжина зразка в момент розриву.

Напруження в поперечному перерізі зразка в момент його розриву називають розривним напруженням (МПа):

$$\sigma = \frac{N}{F},$$

де  $N$  – розривне навантаження, Н;  $F$  – площа поперечного перерізу зразка, мм<sup>2</sup>.

Плівкові матеріали, які виконані орієнтованими в напрямі розтягування, мають більшу міцність (тобто розривне напруження) та менше розривне подовження в даному напрямі, проте менше розривне напруження в поперечному напрямі. Існують також двоосно орієнтовані плівкові матеріали.

Стретч-плівки, навпаки, створені з можливістю великої розтягувальної здатності, яка може сягати 200-300%.

Експериментальна установка для дослідження на розрив стрічкових зразків зображена на рис. 11.1.

Експериментальна установка працює наступним чином.

Досліджуваний зразок 1 закріплений між нижньою 4 та верхньою 5 затискними губками. На блоці керування 7 встановлюється задана швидкість розтягнення. Після вмикання пристрою нижня губка 4 з постійною швидкістю рухається вниз, а електронний динамометр 6 фіксує значення діючого зусилля. Величина ходу губки відображається на індикаторі блока керування 7.

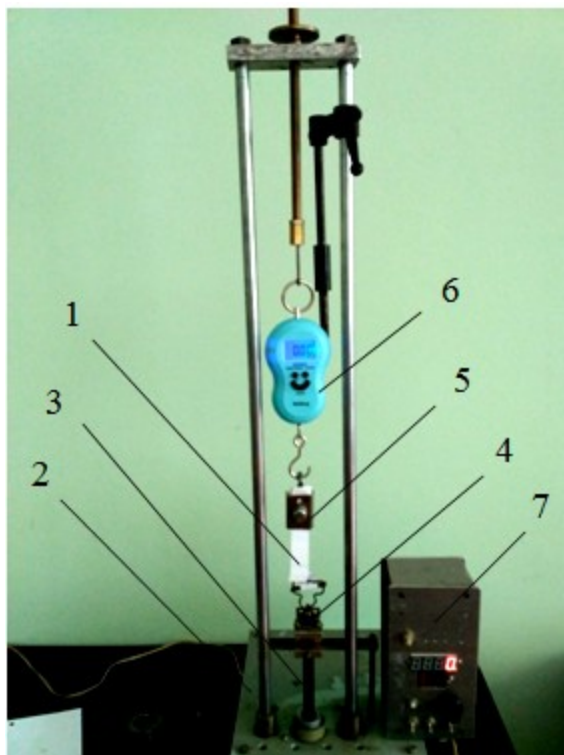


Рис. 11.1. Експериментальна установка для розриву стрічкових зразків  
 1 – стрічковий зразок; 2 – станина; 3 – тягнучий пристрій; 4 – нижні затискні губки;  
 5 – верхні затискні губки; 6 – електронний динамометр; 7 – блок керування

### Порядок виконання роботи і обробки результатів

*Устаткування і матеріали:* експериментальна установка для розриву стрічкових зразків, зразки, мікрометр.

*Хід роботи.*

1. Підготувати плівкові зразки у вигляді стрічок.
2. Виміряти ширину та товщину полімерного зразка за допомогою мікрометра.
3. Затиснути зразок на вимірювальному пристрої (рис. 11.1).
4. Виміряти довжину зразка між затискними губками.
5. Поступово навантажувати пристрій до розриву зразка.
6. Визначити довжину зразка при розриві та розрахувати відносне розтягування.
7. Визначити розривне напруження.
8. Дослід повторити не менш ніж 3 рази, взяти середні значення розрахованих величин.

Провести дослідження з різними плівковими пакувальними матеріалами.

Результати досліджень заносять в протокол до табл. 11.1.

ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_  
Дослідження механічних характеристик плівкових пакувальних матеріалів

1. АПАРАТУРА: (прилади, пристосування; тип і основні характеристики)
2. МАТЕРІАЛ: (тип)
3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ:

**Таблиця 11.1**

№ п/п	Матеріал	Товщина , мм	Відносне розтягування, %	Розривне зусилля, Н	Розривне напруження, МПа
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Випробування провів:

### Література

1. Гавва О.М., Беспалько А.П. Пакувальне обладнання. - К.: ІАЦ «Упаковка», 2008.
2. Кодра Ю.В., Стоцько З.А., Гаврильченко О.В. Завантажувальні пристрої технологічних машин. Розрахунок і конструювання: Навч. пос. – Львів: „Бескид Біт”, 2008. – 356 с.

### Контрольні запитання та завдання

1. Як визначити розривне напруження?
2. Як визначити відносне розтягування при розриві?
3. Опишіть методику випробувань на розтяг.
4. Опишіть будову та принцип дії експериментальної установки.

## **Лабораторна робота № 12**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗВАРЮВАННЯ ПЛІВКОВОЇ ТАРИ**

**Мета роботи:** вивчення технологічних параметрів термоконтактного зварювання пресуванням плівкових і листових термопластичних матеріалів, дослідження впливу параметрів зварювання на якість зварного шва виробу.

#### **Основні теоретичні положення**

Зварювання пластмас - один із способів створення нероз'ємного з'єднання елементів конструкцій. В результаті зварювання між поверхнями, що з'єднуються, зникає межа розділу, перетворюючись на розмитий перехідний шар. Міцність з'єднання зумовлюють виникаючі в цьому шарі сили міжатомної і міжмолекулярної взаємодії.

При зварюванні термопластів перехідний шар утворюється внаслідок дифузії макромолекул полімеру, що перебуває у в'язкотекучому стані. Цей стан реалізується при нагріванні зварюваних матеріалів або при дії на них розчинника. Відповідно розрізняють дифузійне теплове зварювання і дифузійне зварювання за допомогою розчинника.

Міцне зварне з'єднання термореактивних полімерів, які неможливо перевести в розплав або розчин, може бути утворено при хімічній взаємодії макромолекул між собою або із введеним в зону зварювання зшиваючим агентом. Такий спосіб створення з'єднання називається хімічним зварюванням. Його використовують також для зварювання деяких кристалічних або орієнтованих термопластів, коли необхідно в максимальному ступені зберегти структуру зварюваних матеріалів.

Джерела нагріву при зварюванні - нагріті газ, інструмент, присадний матеріал або тепло, що генерується в матеріалах внаслідок перетворення різних видів енергії - струмів високої частоти, ультразвуку, тертя, інфрачервоного або лазерного випромінювання.

Контактно-теплове зварювання - універсальний спосіб, яким принципово можна з'єднати все термопласти великої і малої товщини. При даному методі зварювання нагрівання поверхонь деталей, що з'єднуються, відбувається за рахунок контакту з нагрівальним (зварювальним) інструментом, через який частіше всього передається тиск на зварювані поверхні.

Оптимальний режим зварювання визначається на зразках поліетиленової плівки при зміні величини і тривалості імпульсу електричного струму, що пропускається по нагрівачу зварювального апарату, із подальшим випробуванням їх за заданою програмою.

Випробуванням піддаються зразки плівки розміром 100 x 160 мм, що з'єднуються унахльост із розташуванням зварного шва посередині зразків (рис. 12.1). Випробування проводяться на зсув і на розшаровування на одному зразку. Для

випробування двох зразків при кожному режимі необхідні 4 відрізки плівки 1 вказаного розміру.

Визначення міцності при розшаровуванні і при зсуві проводять на смужках прямокутної форми, вирізаних із зварених зразків. Для кожного виду випробування вирізають не менше трьох зразків шириною 10 мм (рис. 12.1).

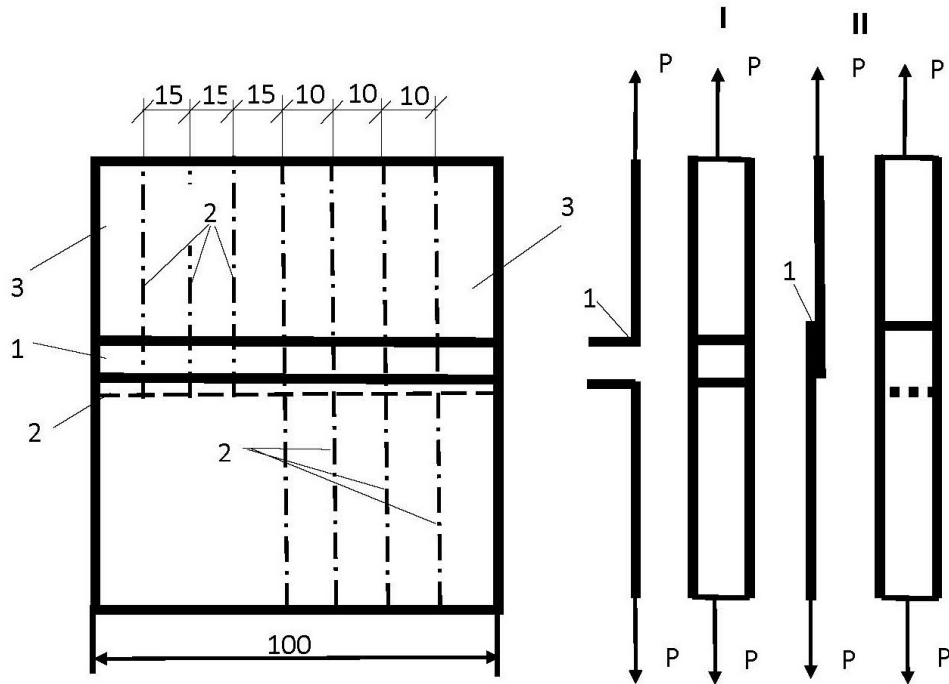


Рис. 12.1. Схеми розкрою зварених відрізків плівки на зразки для випробування на механічну міцність (а) і види випробування зразків (б):

*1* - зварний шов; *2* - лінії розрізу; *3* - невживані ділянки; випробування при розшаровуванні (I) і при зсуві (II)

Зварювання виконують на портативному зварювальному апараті із нагрівачим інструментом (електродом) у вигляді рейки (рис. 12.2).

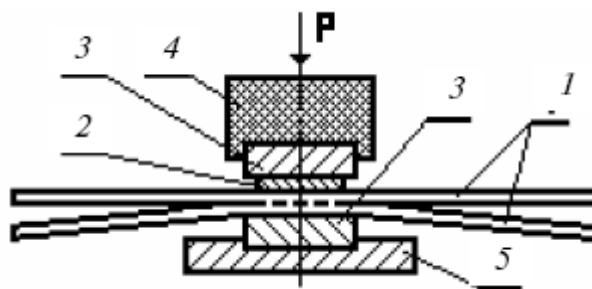


Рис. 12.2. Схема зварювання плівок: *1* - зварювані плівки; *2* - нагрівач; *3* - еластичні прокладки; *4* - рухомий електрод; *5* - нерухома опора

Необхідний тиск на зварюваний матеріал створюють вручну або підвісивши вантаж на рукоятку зварювального апарату.

Зразки встановлюють в зазорі між еластичними прокладками 3 рухомого електрода 4 та нерухомої опори 5, і по досягненні заданої температури нагрівача 2 здійснюють притискання. Різні значення напруги струму (15, 20 і 25 В), що подається на нагрівач, задають за допомогою автотрансформатора, а тривалість імпульсу - за допомогою реле часу.

Зразки зварюють при кожній нарузі на нагрівачі і тривалості імпульсу від доль секунди до декількох секунд, наприклад 0,25; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0 і 5,0 с. Після нагріву зразки витримують протягом 5 с для охолодження зварного шва, потім зварені зразки витягують з-під електроду.

### **Порядок виконання роботи і обробки результатів**

*Устаткування і матеріали:* пристосування для контактнo-теплого зварювання, машина розривна..

*Хід роботи.*

1 Ознайомитися з інструкцією по охороні праці і техніці безпеки при роботі на пристосуванні для контактнo-теплого зварювання.

2 Підготувати зразки полімерних матеріалів до зварювання.

3 Ознайомитися з технологічними режимами зварювання плівкових і листових полімерних матеріалів.

4 Провести процес термoкoтактного зварювання листів із термопласту при різних технологічних режимах.

5 Визначити оптимальний технологічний режим зварювання заданого плівкового полімерного матеріалу.

Для оцінки міцності з'єднання зразки випробовують за такою програмою.

Руйнуюче напруження  $\sigma$  (МПа) обчислюють за формулою

$$\sigma = \frac{N}{F},$$

де  $N$  – розривне навантаження, Н;  $F$  – площа поперечного перерізу зразка, мм<sup>2</sup>.

На підставі аналізу даних табл. 12.1 вибирають оптимальні режими зварювання, що забезпечують досягнення максимальних показників міцності при мінімальній тривалості процесу.

Визначають оптимальну температуру зварювання. Оптимальна температура зумовлює швидке взаємопроникнення макромолекул в зоні з'єднання при невеликих зусиллях притиску без протікання деструкції полімеру.

Оптимальна температура зварювання  $T$  термопластів по дифузійному механізму лежить в інтервалі між температурою текучості  $T_t$  і температурою деструкції  $T_d$ . Зміщення  $T$  св в область температур нижче або вище  $T_t$  залежить від тривалості зварювання і тиску.

Температуру текучості визначають по термомеханічних кривих цих полімерів.

Зварювання проводять при температурах ( $T_T \pm 20$ ),  $T_T$  і ( $T_T + 20$ ) із витримкою протягом 5 хв. і при постійному тиску, рівному 0,5 МПа для поліпропілену або 1,5 МПа для полівінілхлориду.

Зразки встановлюють в пристосуванні так, щоб шов розташовувався посередині нагрівача інструменту.

Первинне зусилля повинне складати 150 - 200 Н на всю поверхню зразків. Зразки фіксують за допомогою обмежувальних планок.

Після закінчення витримки, не знижуючи тиску, зварні зразки охолоджують до (30 - 40) °С, потім витягують з пристосування і готують до випробувань.

Оптимальною температурою зварювання вважається така температура, при якій забезпечується максимальна міцність зварного шва.

За оптимальну тривалість зварювання береться мінімальний час витримки при температурі зварювання, в течію, якої досягається максимальна міцність з'єднання матеріалів.

Оптимальний тиск зварювання визначають при заданій температурі і тривалості зварювання. Зварювання проводять при тиску 0,2 МПа, 0,5 МПа і 1 МПа для поліпропілену і 0,5 МПа, 1,5 МПа і 2,5 МПа для полівінілхлориду.

Отримані результати вносяться в табл. 12.1. Будують графіки залежностей абсолютної і відносної міцності зварних з'єднань від напруги на нагрівачі і від тривалості нагріву.

Результати досліджень заносять в протокол до табл. 12.1.

ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_  
Дослідження процесу зварювання плівкової тари

1. АПАРАТУРА: (прилади, пристосування; тип і основні характеристики)
2. МАТЕРІАЛ:
3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ:

**Таблиця 12.1**

№ п/п	Температура зварювання, °С	Тиск зварювання, МПа	Тривалість зварювання, с	Розривне зусилля при розтягуванні, Н	Розривне зусилля при зсуві, Н	Розривне зусилля при розшаруванні, Н
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

Випробування провів:

Представити графічні залежності за визначенням оптимальних параметрів термоконтактного зварювання термопластів.

### **Література**

1. Гавва О.М., Беспалько А.П. Пакувальне обладнання. - К.: ІАЦ «Упаковка», 2008.
2. Кодра Ю.В., Стоцько З.А., Гаврильченко О.В. Завантажувальні пристрої технологічних машин. Розрахунок і конструювання: Навч. пос. – Львів: „Бескид Біт”, 2008. – 356 с.

### **Контрольні запитання та завдання**

1. Опишіть методику зварювання плівкових зразків.
2. Що таке розтягування при розшаруванні?
3. Опишіть методику підготовки зразків для випробування.
4. Що таке розтягування при зсуві?



## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гавва О.М., Беспалько А.П. Пакувальне обладнання. - К.: ІАЦ «Упаковка», 2008.
2. Кодра Ю.В., Стоцько З.А., Гаврильченко О.В. Завантажувальні пристрої технологічних машин. Розрахунок і конструювання: Навч. пос. – Львів: „Бескид Біт”, 2008. – 356 с.
3. Чернов М.Е. Упаковка сыпучих продуктов: учебное пособие. - М.: Де Ли, 2000. – 163 с.
4. Сторіжко Й.І., Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. Термінологічний довідник пакувальника. - К.: ІАЦ „Упаковка”, 1999. - 80 с.
5. Упаковка грузов: справочник / Н.В.Акимов, Н.Н.Андропова, Н.М.Гаврюшин и др. - М.: Транспорт, 1992. – 480 с.
6. Каталымов А.В., Любартович С.В. Дозирование сыпучих и вязких материалов. - Л.: Химия, 1990. – 240 с.
7. Машины для фасования пищевых жидкостей в бутылки / Ц.Р. Зайчик, В.А. Трунов, В.К. Яшин. - М.: Агропромиздат, 1989. – 239 с.
8. Погрузочно-разгрузочные и транспортные операции на линиях розлива пищевых продуктов /А.И. Соколенко, М.И. Юхно, О. И. Ковалев и др. - М.: Агропромиздат, 1986. – 220 с.
9. Колосов О.Є. Технологія пакувального виробництва (навчальний посібник). К.: ВПК «Політехніка» НТУУ КПІ, 2015. - 247 с. (Лист МОНУ №1/11-12071 від 29.07.2014р.).
10. Колосов О.Є. Технологія зберігання харчової продукції: неупакованої та упакованої із застосуванням полімерних плівкових матеріалів (навчальний посібник). К.: ВПК «Політехніка» НТУУ КПІ, 2015. – 179 с. (Лист МОНУ №1/11-11495 від 22.07.2014р.)
11. Колосов О.Є. Технологія пакування продукції: навчальний посібник [для студ. вищ. навч. закл.; електронне видання]. К.: НТУУ КПІ, 2016. - 208 с. Назва з екрана. Доступ : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/14444>
12. Колосов О.Є. Технологія зберігання неупакованої та упакованої харчової продукції: навчальний посібник [для студ. вищ. навч. закл.; електронне видання] К.: НТУУ КПІ, 2016. - 180 с. Назва з екрана. – Доступ : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/14443>
13. Сокольський О. Л., Колосов О.Є. Пакувальне обладнання. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студентів, які навчаються за напрямом підготовки 6.050502 «Інженерна механіка», програмою професійного спрямування «Машина і технологія пакування»; спеціальністю 131 «Прикладна механіка», спеціалізацією «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання пакування» КПІ ім. Ігоря Сікорського; Електронні текстові данні. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 51 с. Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №8 від 19.04.2018).

Назва з екрана. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/23461>

14.Сокольський О. Л., Колосов О.Є. Пакувальне обладнання. Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студентів, які навчаються за напрямом підготовки 6.050502 «Інженерна механіка», програмою професійного спрямування «Машини і технологія пакування»; спеціальністю 131 «Прикладна механіка», спеціалізацією «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання пакування» КПІ ім. Ігоря Сікорського; Електронні текстові данні. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 41 с. Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №8 від 19.04.2018).

Назва з екрана. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/23460>

15.Колосов О.Є. Технологія пакування та зберігання пакованої продукції. Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для підготовки студентів, які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», спеціалізацією «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання пакування» КПІ ім. Ігоря Сікорського; Електронні текстові данні. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 35 с. Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №9 від 24.05.2018).

Назва з екрана. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/23467>

16.Колосов О.Є. Технологія пакування та зберігання пакованої продукції. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для підготовки студентів, які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», спеціалізацією «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання пакування» КПІ ім. Ігоря Сікорського; Електронні текстові данні. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 68 с. Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №9 від 24.05.2018).

Назва з екрана. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/23450>

17.Колосов О.Є. Технологія пакування та зберігання пакованої продукції: Самостійна робота студентів з навчальної дисципліни [Електронний ресурс] : навч. посіб. для підготовки студентів, які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», спеціалізацією «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання пакування» КПІ ім. Ігоря Сікорського; Електронні текстові данні. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 27 с. Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №9 від 24.05.2018).

Назва з екрана. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/23471>

## ЗМІСТ

Вступ.....	3
Мета та основні завдання лабораторних занять.....	4
<b>Лабораторна робота №1.</b> Визначення кута природного укосу сипких матеріалів.....	5
<b>Лабораторна робота №2.</b> Визначення об'ємної маси сипких матеріалів.....	8
<b>Лабораторна робота №3.</b> Визначення коефіцієнтів тертя пакувальних матеріалів.....	11
<b>Лабораторна робота №4.</b> Визначення коефіцієнтів тертя сипких матеріалів...	15
<b>Лабораторна робота №5.</b> Визначення умовної в'язкості рідких продуктів....	20
<b>Лабораторна робота №6.</b> Дослідження процесу дозування сипких продуктів під дією сили гравітації.....	23
<b>Лабораторна робота №7.</b> Дослідження процесу дозування рідких продуктів під дією сили гравітації.....	26
<b>Лабораторна робота №8.</b> Дослідження механічних характеристик пластичних продуктів.....	30
<b>Лабораторна робота №9.</b> Дослідження процесу дозування сипких продуктів у шнековому живильнику.....	34
<b>Лабораторна робота №10.</b> Дослідження похибки процесу об'ємного безперервного дозування сипких продуктів шнековим живильником.....	38
<b>Лабораторна робота №11.</b> Дослідження механічних характеристик плівкових пакувальних матеріалів.....	41
<b>Лабораторна робота №12.</b> Дослідження процесу зварювання плівкової тари.	44
Список рекомендованої літератури.....	49

Електронне мережне навчальне видання

**Сокольський Олександр Леонідович**  
**Колосов Олександр Євгенович**

**ПАКУВАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ.**  
**Лабораторний практикум**

*для студентів,  
які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»,  
спеціалізацією «Інжиніринг пакувань та пакувального обладнання»  
денної форми навчання*

Комп'ютерна правка та верстка – *авторські*